

DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DE UN LATÓN COMERCIAL  
EN CONTACTO CON UNA MEZCLA DE ETANOL - GASOLINA MEDIANTE TÉCNICAS  
ELECTROQUÍMICAS

CAMILA URIBE GIRALDO

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de  
Ingeniera Mecánica

Director:

Ph.D. José Luis Tristancho Reyes

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

PEREIRA

2018

Nota de aceptación:

---

---

---

---

---

---

---

Firma del Director de proyecto

Pereira, Marzo de 2018

## **DEDICATORIA**

Camila Uribe Giraldo

Por la vida, por el apoyo y por el amor esto es para mi madre Angela Ma. Giraldo Agudelo, mi guía en esta vida, por enseñarme lo bueno y lo malo, para ser la persona que soy hoy. A mi padre Oscar Uribe Marulanda por darme la vida y enseñarme a no dejarme vencer por nada ni nadie. A mi padrino Carlos Mario Jiménez Yepes por ser mi apoyo, por levantarme cada vez que lo necesite y estar en mi vida. A mi novio Santiago Giraldo por el amor y por recorrer este camino conmigo. A mi mejor amiga Daniela y su mamá Ana Milena por ser no solo mis amigas, sino por convertirse en mi familia.

## **AGRADECIMIENTOS**

Este agradecimiento es para el grupo CECEND por el recibimiento y el apoyo en el laboratorio, principalmente al P.hd José Luis Trisancho Reyes por sus enseñanzas, el apoyo brindando y la paciencia no solo en el transcurso de esta investigación, sino también en la carrera.

A los docentes que fueron parte de este camino para ayudarme a crecer integralmente.

## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	5
1. MARCO TEÓRICO	7
1.1. OBJETIVO GENERAL	7
1.2. CORROSIÓN	7
1.3. LATÓN	9
1.4. ZINC	11
1.5. COBRE	11
1.6. ETANOL	12
1.7. TÉCNICAS ELECTROQUÍMICAS	13
2. METODOLOGÍA Y EXPERIMENTOS	17
2.1. PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS, LA CELDA ELECTROQUÍMICA Y EL MEDIO ELECTROLÍTICO	17
2.2. DESARROLLO EXPERIMENTAL	22
3. RESULTADOS Y ANÁLISIS	26
3.1. RESULTADOS OBTENIDOS	26
3.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS	33
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	34
4.1. Recomendaciones	35
5. BIBLIOGRAFÍA	35

## INTRODUCCIÓN

En el transcurso del tiempo la humanidad se ha visto afectada; en la actualidad la problemática ambiental demuestra la necesidad de desarrollar diferentes tipos de energías alternativas, las cuales han surgido y evolucionado, donde una de estas es el reemplazo de los combustibles fósiles por la implementación de biocombustibles, ya que los combustibles fósiles son cada vez más escasos y costosos, por lo tanto las alternativas como los biocombustibles derivados a partir de la biomasa son una muy buena opción.

Los biocombustibles surgen de la necesidad de desarrollar energías renovables a partir de materiales derivados de origen biológico, para ayudar a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y la dependencia de los combustibles fósiles; entre los principales biocombustibles de primera generación se encuentran el bioetanol, el biodiésel y el biogás, uno de los biocombustibles con mayor producción a nivel mundial es la mezcla de Etanol-gasolina. [1]

La mezcla de Etanol-gasolina es el biocombustible con mayor producción mundial. Para su fabricación se puede utilizar una gran cantidad de materias primas. El etanol se usa en mezclas con la gasolina en concentraciones entre el 5% y el 20%, (E5 y E20) actualmente, las cuales no requieren modificaciones en los motores actuales y pueden funcionar con estas mezclas de etanol deshidratado. Estas mezclas proporcionan una reducción útil, pero limitada de gases de efecto invernadero, teniendo en cuenta que el etanol tiene un octanaje mucho mayor que la gasolina lo que hace que no se queme de forma tan eficiente en los motores convencionales. [2]

Una de las desventajas es la corrosión, se sabe que los combustibles tradicionales tales como la gasolina no han causado problemas de corrosión debido principalmente a la baja miscibilidad con el agua. Por otro lado, los biocombustibles a base de alcohol pueden contener una cantidad considerable de agua y, además, la oxidación parcial de sus componentes puede producirse por exposición a la atmósfera, lo que puede conducir a la corrosión y al fallo posterior de cualquier componente metálico en contacto con las mezclas etanol-gasolina. En consecuencia, todos los sectores industriales relacionados con este combustible, las empresas productoras, la logística, los dispensadores y los fabricantes de vehículos podrían verse afectados por este problema. Esto hace que este tema sea muy interesante, tanto desde un punto de vista científico como industrial. [3]

Uno de los materiales es el Latón, que es una aleación de cobre y Zinc, fue una de las primeras aleaciones desarrolladas y tiene numerosas aplicaciones. [4]

Lo anterior hace referencia a la importancia de los biocombustibles, dando la posibilidad de utilizar inmediata y adecuadamente la bioconversión de etanol a partir de biomásas, parece técnicamente viable para Colombia que recibe radiación solar abundante y al mismo tiempo, dispone de áreas extensas todavía no aprovechadas que, por sus características edafoclimáticas, pueden ser explotadas con plantas de alto contenido de hidratos de carbono o almidones, técnicamente transformables en etanol. [5]

Debido a la necesidad planteada el presente proyecto se tiene como objetivo evaluar la velocidad de corrosión del Latón, el cual con frecuencia se usa en aplicaciones marinas, también tiene una excelente facilidad de maquinado y se usa en conectores, herrajes y otras partes fabricadas en máquinas roscadoras. [6]

## **1. MARCO TEÓRICO**

### **1.1. OBJETIVO GENERAL**

Determinar la velocidad de corrosión del latón comercial en contacto con una mezcla de etanol - gasolina mediante los métodos electroquímicos de resistencia a la polarización lineal y curvas Tafel.

#### **1.1.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar el comportamiento de un Latón comercial al ser expuesta a una mezcla de 20%etanol-80%gasolina mediante el método electroquímico de resistencia a la polarización lineal (RPL).
- Determinar la velocidad de corrosión presentada por un Latón comercial al ser expuesta en un agente corrosivo compuesto por 20%etanol-80%gasolina mediante la extrapolación de Tafel.
- Determinar el tipo de corrosión que presenta una aleación de Latón al ser expuesta a un medio electrolítico compuesto por una mezcla de 20%etanol-80%gasolina.

### **1.2. CORROSIÓN**

Se denomina corrosión al ataque destructivo que sufre un material, generalmente metálico, por reacción química o electroquímica con su medio ambiente (atmósfera, suelo, agua, etc.).

La reacción de que se produce en el fenómeno de la corrosión depende de la naturaleza química del entorno y de la concentración efectiva de las especies reactivas. El efecto de la corrosión es una alteración de las propiedades de los materiales afectados, que puede venir acompañada de una pérdida de material.

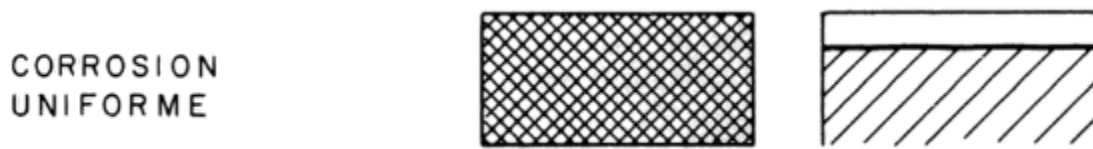
En los materiales metálicos el proceso de corrosión es normalmente electroquímica, es decir, una reacción química en la cual hay una transferencia de electrones de una especie a otra. [7]



La corrosión puede describirse en primer término como una reacción de oxidación, semejante por tanto a cualquier oxidación química. Por esto mismo, debe y puede ser regida por las leyes establecidas por la física y la química. Un metal sólo podrá corroerse, o sea, pasar a un estado más oxidado, cuando sea inestable con respecto a los productos formados por su corrosión. Esta inestabilidad puede preverse en términos energéticos. [8]

### 1.2.1. Clasificación de la corrosión

Corrosión uniforme o generalizada: Corrosión que se desarrolla a una misma velocidad en toda la superficie del material.



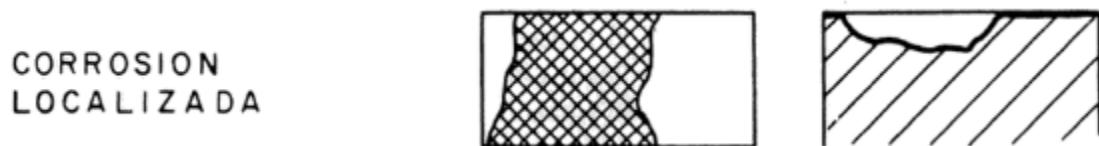
*Figura 1. Corrosión uniforme. [10]*

Corrosión por picadura: Forma de ataque no uniforme, muy localizado, de metales pasivos que da lugar a cavidades muy estrechas y profundas.



*Figura 2. Corrosión por picadura. [10]*

Corrosión localizada: Ataque acelerado de una posición superficial determinada de un material debido generalmente a la separación de las zonas anódicas y catódicas. Originada por desigualdades de la estructura o composición del material que se corroe o la corrosión intergranular son tipos especiales de corrosión localizada. [9]



*Figura 3. Corrosión localizada. [10]*

### **1.2.2. Naturaleza electroquímica de la corrosión**

Los problemas de corrosión que ocurren en la producción industrial son debidos a la presencia de agua. Estando está presente en grandes o pequeñas cantidades siempre será necesaria para el proceso de corrosión. A causa de lo anterior, entonces la corrosión en presencia de agua es un proceso electroquímico, lo cual quiere decir que hay flujo de corriente eléctrica en el proceso de corrosión y para que esto fluya tiene que existir una fuerza impulsora, la cual actúa como una fuente potencial y con esto se completa el circuito eléctrico.

La fuente potencial en este proceso es la energía almacenada por el metal durante el proceso de refinación. Según el metal es la cantidad de energía en su refinación y por eso tendrán diferentes tendencias a corroerse.

La magnitud de esta fuerza impulsora generada por el metal cuando está en contacto con una solución acuosa se llama potencial del metal. Este valor se relaciona con la energía que se libera cuando el metal se corroe.

## **1.3. LATÓN**

Denominación genérica de una aleación metálica cuyos componentes principales son el cobre y el zinc, los latones son aleaciones con una gran diversidad de aplicaciones, que varían fundamentalmente en función de la cantidad de zinc en la aleación. En nuestro medio no son muy conocidas generalmente confundidas con los bronce, aleaciones de propiedades muy diferentes. Existen muchos factores que influyen en las propiedades de los latones.

### **1.3.1. Caracterización de los Latones**

Los latones son aleaciones binarias de cobre y zinc combinados en distintas proporciones que, prácticamente, oscilan entre: Cu de 50 - 95% y Zn de 50 - 5%.

Estas aleaciones son más fusibles que el cobre; tienen una elevada resistencia a la corrosión, e incluso en atmósferas marítimas poseen buenas propiedades lubricantes.

Los latones comerciales pueden dividirse en dos amplios grupos, latones para trabajo en frío (latones a) y latones para trabajos en caliente (latones a más P).

La ductilidad y resistencia mecánica varía según el contenido de zinc, las mismas aumentan con el porcentaje de zinc, llegando al máximo cuando el contenido de zinc es del 30%, este proporciona una buena combinación de resistencia mecánica y ductilidad cuando no es esencial una resistencia a la corrosión de grado máximo. Al aumentar el contenido de zinc por encima del 30%, disminuye la ductilidad del metal, volviéndose quebradizo y duro; sin embargo, la resistencia a la tracción alcanza su máximo con, aproximadamente, 45% de zinc. La dureza Brinell de los latones oscila entre 50 y 60.

Estas modificaciones de las propiedades mecánicas son motivadas por la alteración de la estructura interna.

La conductibilidad eléctrica de los latones baja cuando el contenido de zinc aumenta.

Al aumentar el contenido de zinc por encima del intervalo de la solución sólida a, la estructura de los latones cambia a una mezcla de las fases a y p. La composición del metal Muntz (60% Cu y 40% Zn), reúne la resistencia mecánica de la mezcla a y p, a temperatura ambiente y la mayor ductilidad de una estructura de una sola fase, a temperaturas elevadas. [11]

Algunas de las propiedades y características son:

- Aleación dúctil, puede transformarse (en frío) en láminas, tiras y varillas. Solo es maleable en frío, en caliente se puede quebrar y ya no es útil.
- El latón se funde a los 980°C y, si se funde en moldes, es ideal para obtener piezas de geometría complejas.
- Es de fácil mecanizado, muy uniforme. También es fácil el fundido y troquelado, aunque es más duro que el propio cobre.
- Es buen conductor térmico y cuenta con buenas propiedades de soldadura.
- Como resultado, el latón ofrece un aspecto brillante y dorado.
- Además, es altamente reciclable.

### **1.3.2. Composición Química**

La influencia que ejerce el contenido de zinc sobre las propiedades de los latones es motivo fundamental para considerarlo como un factor determinante, además de que ésta también define la temperatura de trabajo. Como es conocido, no todas las aleaciones de cobre se prestan para la fabricación de piezas por moldeo sino más bien por forja, esto sugiere el método de producción. [11]

## **1.4. ZINC**

El zinc se halla en la naturaleza; primero en estado de sulfuro, llamado blenda; segundo en estado de carbonato, silicato y sulfato, en mezcla el carbonato y silicato, que es lo que constituye la calamina y en el de óxido de combinado con el óxido de hierro y de manganeso.

### **1.4.1. Extracción**

El zinc se extrae de la calamina ó de la blenda. Se calcina ligeramente la calamina, se tuesta la blenda y luego se efectúa la reducción mezclando el mineral con carbón y calentando fuertemente en esta mezcla, con lo cual se destila el zinc. Se purifica este destilándole de nuevo.

### **1.4.2. Propiedades**

El zinc es de un blanco azulado. Su testura es cristalina. A temperatura ordinaria se agrieta bajo el martillo, puede redicirse por el laminador en hojillas muy delgadas y en hilos muy delicados. Su densidad es de 6,86 a 7,19. [12]

## **1.5. COBRE**

El cobre es conocido de tiempo inmemorial, pues estaba como parte principal en la composición de armas y de los instrumentos cortantes antiguos. El cobre se encuentra: primero en estado nativo, en bastante cantidad y muy puro; segundo oxidado u oxidulado; tercero en el sulfato simple y compuesto; cuarto en el de seleniuros y arseniuros; quinto en el salino, constituyendo

los sulfatos, fosfatos, arseniatos, silicatos, carbonatos y cromatos. El mineral de cobre existe en los terrenos antiguos y secundarios, abundando especialmente en la arenilla roja.

#### **1.5.1. Extracción**

Se obtiene el cobre de un óxido ó carbonato calcinándole fuertemente con carbón, también se extrae del sulfuro, para lo cual se tuesta y como el oxígeno del aire quema el azufre y oxida el metal, de este óxido se extrae el cobre calcinándole con carbón.

#### **1.5.2. Propiedades**

El cobre es de un color rojo hermoso y brillante; cristaliza en romboedros por la fusión y enfriamiento, y por la vía húmeda en cubos, que es como se encuentra en la naturaleza. Es poco sonoro y más duro que el oro y la plata. Es el más tenaz de los metales después del hierro. Ocupa el tercer lugar respecto a su maleabilidad y el quinto respecto a su ductilidad. Su densidad después de fundido es de 8,788. [12]

### **1.6. ETANOL**

El concepto de etanol alude al alcohol etílico: una sustancia cuya fórmula química es  $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$ . Se trata de un líquido que se genera a partir de la fermentación de productos que presentan una elevada cantidad de carbohidratos. El etanol, por otra parte, también puede utilizarse como combustible, ya sea solo o combinado con otras sustancias.

El etanol, uno de los biocombustibles más importantes, es un recurso renovable, ya que proviene de la biomasa. Disminuye en gran forma las cantidades utilizadas de nafta. Esto lleva a una reducción en el uso y la importación de hidrocarburos y favorece el uso de recursos naturales renovables nacionales, además de contribuir a disminuir la contaminación. [13]

#### **1.6.1. Etanol como combustible vehicular**

El etanol es un combustible que ofrece ventajas en virtud de sus características físicas y químicas, que pueden ser resumidas como un líquido de baja densidad y alta fluidez con alto calor de

combustión, pero sobre todo considerando las materias primas de origen y su sustentabilidad, los costos de producción y transporte y los bajos efectos negativos en el ambiente. [13]

### **1.6.2. Octanaje**

Octanaje o número de octano es una medida de la calidad y capacidad antidetonante de las gasolinas para evitar las detonaciones y explosiones en las máquinas de combustión interna, de tal manera que se libere o se produzca la máxima cantidad de energía útil.

## **1.7. TÉCNICAS ELECTROQUÍMICAS**

Entre estas técnicas se incluyen la extrapolación de Tafel, curvas de resistencia a la polarización ( $R_p$ ), espectroscopia de impedancia electroquímica (EIE) y ruido electroquímico que presentan como principal característica el poder ser empleadas en el monitoreo en línea del proceso corrosivo y proveer información sobre:

- Velocidad de Corrosión: (cinética de corrosión) se obtiene al determinar el valor de la densidad de corriente de corrosión (ICORR) ya sea por resistencia a la polarización lineal ( $R_p$ ) o por espectroscopia de impedancia electroquímica (EIE).
- Mecanismos de Corrosión: Se definen a partir de los diagramas de Nyquist, obtenidos al aplicar la técnica de espectroscopia de impedancia electroquímica (EIE), indicando si el mecanismo es controlado por difusión, adsorción o transferencia de carga.
- Tipo de Corrosión: se determina a partir de los registros obtenidos de la aplicación de la técnica de ruido electroquímico, si en el registro se observan fenómenos transitorios anódicos y catódicos se presenta corrosión localizada, pero sí se presentan fluctuaciones erráticas se considera corrosión uniforme.

La termodinámica de las reacciones de equilibrio permite determinar si el proceso corrosivo tendrá lugar pero nunca dará una idea sobre la velocidad con que se llevara a cabo la reacción; se debe entonces observar factores cinéticos que ayuden a predecir la velocidad a la cual el metal se va a corroer indicando la cantidad de metal por unidad de tiempo que se disolverá en un medio dado, esto contempla un sistema fuera de su condición de equilibrio (Tristancho, 2011). [14]

### 1.7.1. Curvas de Polarización o extrapolación de Tafel

El potencial de un metal, que se hace actuar como un electrodo en una celda electroquímica, además de poderse modificar en función del tiempo cambia de la misma forma, en función de la densidad de corriente que se le aplique (procedimiento potenciostático). En el procedimiento galvánico se mantiene constante la densidad de corriente aplicada.

Para la obtención de las curvas de polarización se aplica un barrido de potencial de  $\pm 20$  mV respecto al potencial de corrosión y se observan los datos derivados de las polarizaciones tanto anódica como catódica. El barrido del potencial se grafica en función del logaritmo de la densidad de corriente, lo anterior se muestra en la figura 4. [14]

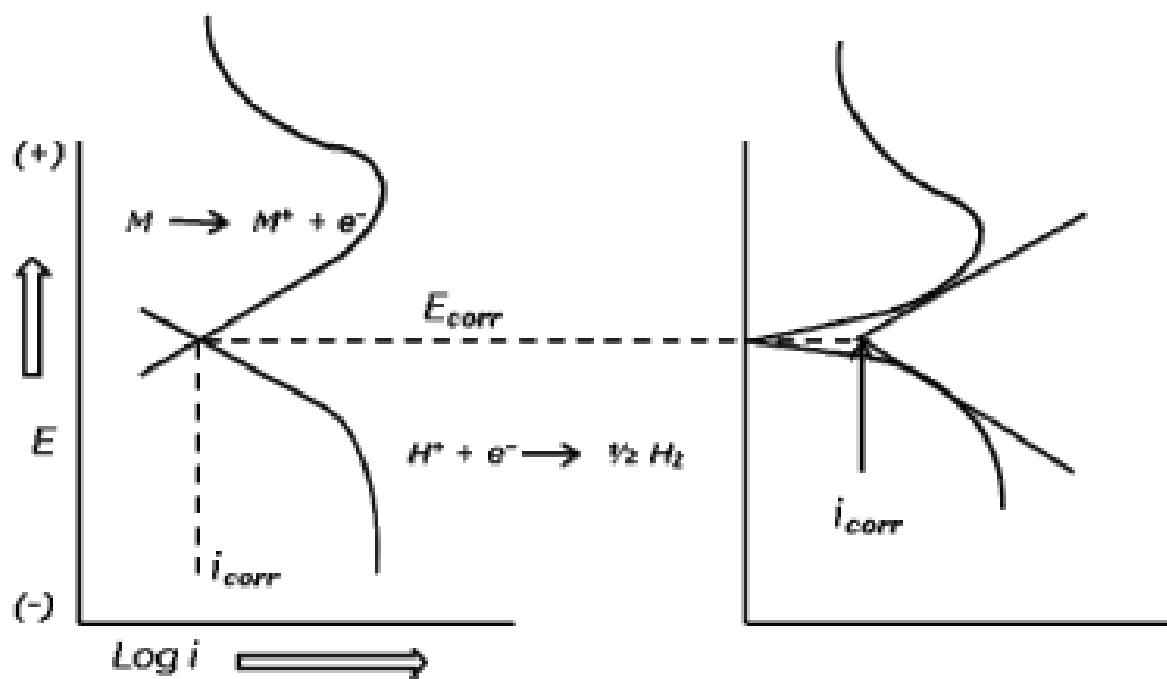


Figura 4. Diagrama de Tafel. [14]

### 1.7.2. Resistencia a la Polarización Lineal (RPL)

Es una técnica de monitoreo continuo usada en la determinación de la velocidad de corrosión y puede definirse como la resistencia que ofrece un material a la oxidación durante la aplicación de un potencial externo.

Presenta la ventaja de requerir solo la aplicación de pequeñas polarizaciones que no alteran la superficie del electrodo de trabajo (material de prueba). La resistencia a la polarización ( $R_p$ ) se determina calculando la pendiente de la región lineal de la curva en el diagrama E vs i, como puede observarse en la figura 5.

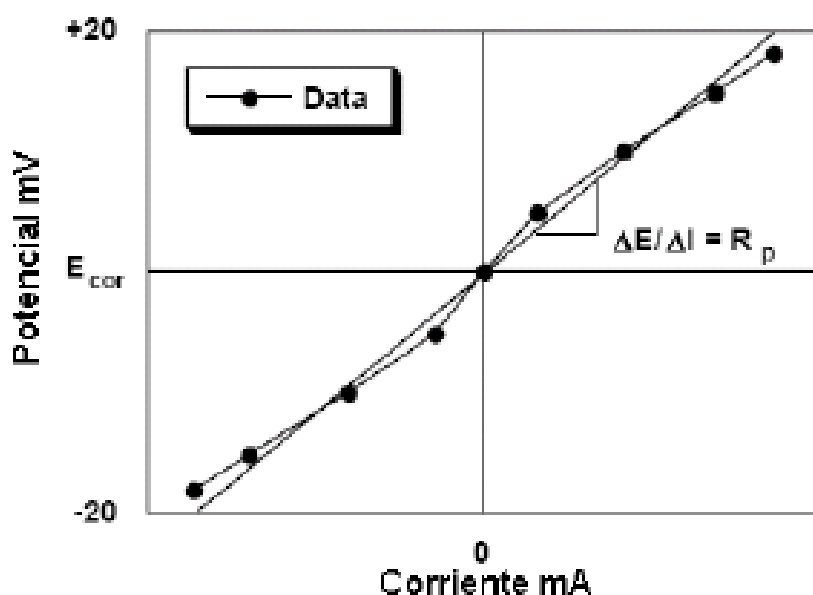


Figura 5. Diagrama de resistencia a la polarización. [10]

Este ensayo consiste en la aplicación, mediante un potenciostato, de un potencial de  $\pm 20$  mV, alrededor del potencial de reposo con una velocidad de barrido de 0.1 mV/seg. y obtener una respuesta de corriente lineal con el voltaje.

Con la resistencia a la polarización ( $R_p$ ) y las pendientes de Tafel obtenidas de las curvas de polarización, la densidad de corriente de corrosión puede ser determinada mediante el uso de la ecuación de Stern – Geary [10]:



$$I_{corr} = \frac{\beta}{R_p} \quad (1)$$

Donde:

$$\beta = (babc)/[2,303(ba + bc)]$$

Siendo:

$I_{corr}$  = Densidad de corriente de corrosión ( $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ )

$R_p$  = resistencia a la polarización ( $\Omega.\text{cm}^2$ )

$ba$  = pendiente anódica de Tafel (V)

$bc$  = pendiente catódica de Tafel (V)

La velocidad de corrosión puede terminarse con la siguiente expresión:

$$V_{Corr} = 3,27 * 10^{-3} (I_{Corr} P.E / \rho)$$

Donde:

$V_{Corr}$  = velocidad de corrosión (mpy).

PE = peso equivalente del material (g)

$\rho$  = densidad del material ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

## **2. METODOLOGÍA Y EXPERIMENTOS**

### **2.1. PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS, LA CELDA ELECTROQUÍMICA Y EL MEDIO ELECTROLÍTICO**

#### **2.1.1. Preparación de las probetas**

Para la realización de este proyecto se ejecutaron diferentes tareas como la preparación de las probetas del material ya seleccionado anteriormente el cual fue Latón comercial 660.

El material inicialmente tiene una medida estándar de diámetro y el largo es según la necesidad del comprador.

Diámetro estándar de 25.4 mm y el largo se modificó ya que para realización de la prueba se cortó el material dejándolo de 2 cm de largo, posteriormente se pulieron las piezas, luego se roscaron en una cara de la probeta con medidas de 1/8 de pulgada de diámetro y con 10 mm de profundidad (Rosado hembra – WITWORTH 1/8” X 40 h/p NC). Otro material que se utilizó fue aporte de soldadura sin recubrimiento, también conocido como alambre de acero inoxidable, con el cual se le realizó un roscado en uno de sus extremos ya que este material tendrá el roscado macho y entrara en la probeta de Latón, el alambre tiene una medida de 100 mm incluyendo el roscado de 10 mm, este sostendrá la probeta, por lo tanto se le realizaron unos ángulos para el agarre adecuado de la probeta al momento de la prueba como se muestra a continuación:



*Imagen 1. Medición de diámetro de la probeta mecanizada.*



*Imagen 2. Probeta mecanizada.*



*Imagen 3. Alambre de acero inoxidable con el roscado.*

### **2.1.2. Preparación de celda electroquímica**

Para el montaje de la celda electroquímica se utilizaron materiales como un vaso de vidrio, una tapa la cual de adecuo según el requerimiento, ya que los electrodos no pueden tener contacto; la tapa de vidrio se modificó con tres agujeros en forma de triángulo con separación de 20mm entre ellos, donde cada electrodo se introduce y se fija de forma adecuada.

Los electrodos nombrados anteriormente son:

- Electrodo de trabajo: el cual se compone de la unión de la probeta de Latón y el alambre de acero inoxidable.



*Imagen 4. Unión de probeta de Latón y alambre de acero inoxidable.*

- Electrodo de referencia: el cual se compone de un alambre de platino (Suministrado por el Ph.D. José Luis Tristancho Reyes), unido con un tubo capilar y un sello el cual lo sostiene en la tapa.



*Imagen 5. Unión de alambre de platino, tubo capilar y sello.*

- Contraelectrodo: el cual se compone de una barra de grafito.



*Imagen 6. Barra de grafito.*

### **2.1.3. Medio electrolítico**

Para el medio electrolítico se decidió trabajar en una mezcla de Etanol-Gasolina (corriente), la cual se realizó según la norma técnica brasileira NBR 13993, en porcentajes de Etanol (20%) y gasolina (80%), esta mezcla fue realizada en el Laboratorio de pruebas dinámicas y automotrices (LPDA) (el etanol fue suministrado por el LPDA), se trabajó según el Manual 2 de “Preparación de mezclas etanol-gasolina E10 y E20”.

Al finalizar las diferentes tareas, se realizó el montaje, el cual fue la unión de todos los elementos; en la tapa de vidrio en cada agujero se agregó uno por uno los electrodos, los cuales no debían tocarse para evitar más adelante una mala lectura, en el vaso de vidrio de depósito la mezcla etanol-gasolina, donde esta no debía sobrepasar la mitad de la probeta, a continuación se muestra el montaje:



*Imagen 7. Montaje de Celda electroquímica.*

## **2.2. DESARROLLO EXPERIMENTAL**

Las pruebas para determinar la velocidad de corrosión de un latón comercial en contacto con una mezcla de etanol – gasolina, se realizaron en intervalos de 12 horas, en exposición al medio electrolítico las cuales fueron al momento del montaje (hora cero) y finalizando a las 48 horas, donde se realizaron las pruebas electroquímicas como la resistencia a la polarización lineal (RPL) y extrapolación de las pendientes de Tafel, estas fueron medidas por un potencióstato-galvanostato (Suministrado por el grupo de investigación en materiales avanzados (GIMAV UTP) el cual se muestra a continuación:

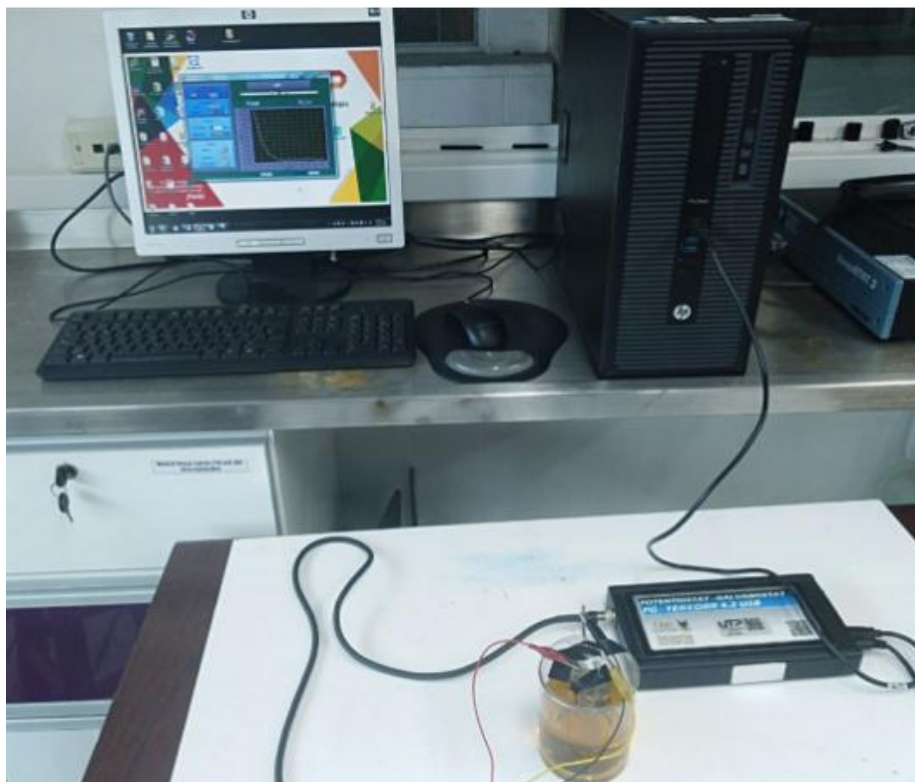


*Imagen 8. Potenciostato-galvanostato.*

El procedimiento se realizó en base al manual de funcionamiento del equipo, donde la guía y las recomendaciones fueron del docente a cargo, para el perfecto funcionamiento del equipo y las pruebas se realizaran con éxito.

Normas técnicas del potenciostato-galvanostato son ASTM G106 para prueba de extrapolación de las pendientes de Tafel y ASTM G59-91 para prueba de resistencia a la polarización lineal.





*Imagen 9. Montaje completo de celda electroquímica, potencióstato-galvanostato y programa computacional.*

Después de realizado el montaje, se dio inicio al programa el cual en su página principal muestra las diferentes pruebas que se pueden realizar con el equipo, en este caso se realizaron pruebas de resistencia a la polarización lineal y extrapolación de las pendientes de Tafel.



*Imagen 10. Página principal del programa.*

### 2.2.1. Parámetros

El equipo necesita algunos datos básicos del material para el perfecto funcionamiento tales como:

Material	Latón 660
Área [cm <sup>2</sup> ]	13,04
pH	8,00
Peso equivalente [g ep]	32,00
Densidad [g/cm <sup>3</sup> ]	8,60

*Tabla 1. Datos suministrados al programa.*

### 2.2.2. Parámetros para prueba de resistencia a la polarización lineal

Barrido potencial	±20 mV
Velocidad de barrido	10 mV/s
Rango	0,1 nA

*Tabla 2. Parámetros para RPL.*

### 2.2.3. Parámetros para prueba de extrapolación de las pendientes de Tafel

Barrido potencial	$\pm 20$ mV
Velocidad de barrido	10 mV/s
Rango	0,1 nA

Tabla 3. Parámetros para extrapolación de pendientes Tafel.

Después de seleccionar el tipo de prueba se añaden tipo de material, los parámetros vistos en el numeral 2.2.1, además del tipo de electrodo y electrolito.

ENTRADA DE DATOS

**DATOS GENERALES DE LA PRUEBA**

**LINEAMIENTOS GENERALES**

CLIENTE: Camila Uribe Giraldo

Fecha: JUEVES, 03 DE NOVIEMBRE DE 2016 //10:42:49 a.m. Responsable: Camila Uribe Giraldo

ARCHIVO: D:\POTENCIOSTATO LEER

**PARAMETROS**

PRUEBA: LPR ELECTRODO: SCE (sat)

MATERIAL: Latón 660 ELECTROLITO: E20

AREA cm2: 13,04 cm<sup>2</sup>

PESO EQUIVALENTE: 32,00 gr

DENSIDAD: 8,60 gr/cm<sup>3</sup>

pH: 8,00

Medir Potencial de Reposo: ON

POTENCIAL: -188 mV

SEGUIR REGRESAR

Imagen 11. Página de datos generales de la prueba.

## 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

### 3.1. RESULTADOS OBTENIDOS

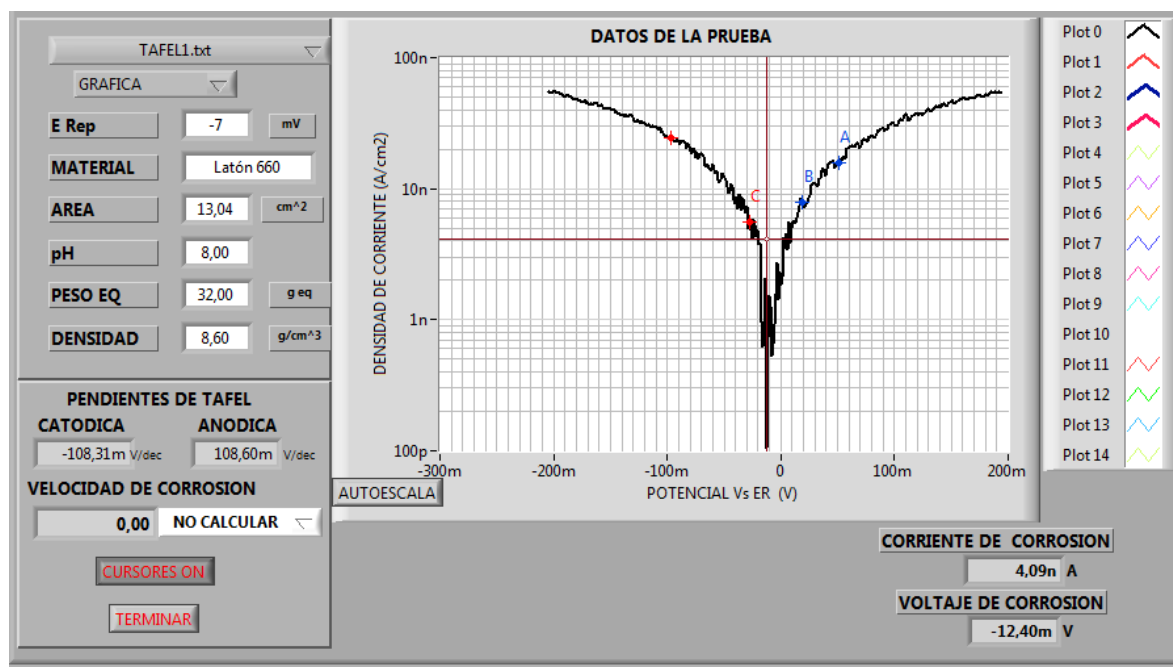
La satisfactoria realización de las pruebas para la determinar la velocidad de corrosión de un latón (660) comercial en contacto con una mezcla de etanol (20%) – gasolina (80%), entrego los siguientes resultados:

### 3.1.1. Extrapolación de las pendientes de Tafel

Las curvas obtenidas durante el ensayo, entrego las gráficas y las constantes de Tafel catódica (Bc) y anódica (Ba) como se demuestra a continuación:

Horas de exposición	Bc [mV/dec]	Ba [mV/dec]
0	-108,31	108,60
12	-92,47	91,72
24	-93,60	91,31
36	-79,51	80,85
48	-55,15	55,94

*Tabla 4. Resultado de constantes de Tafel catódica y anódica.*



*Figura 6. Gráfica de prueba a la hora 0 (cero).*

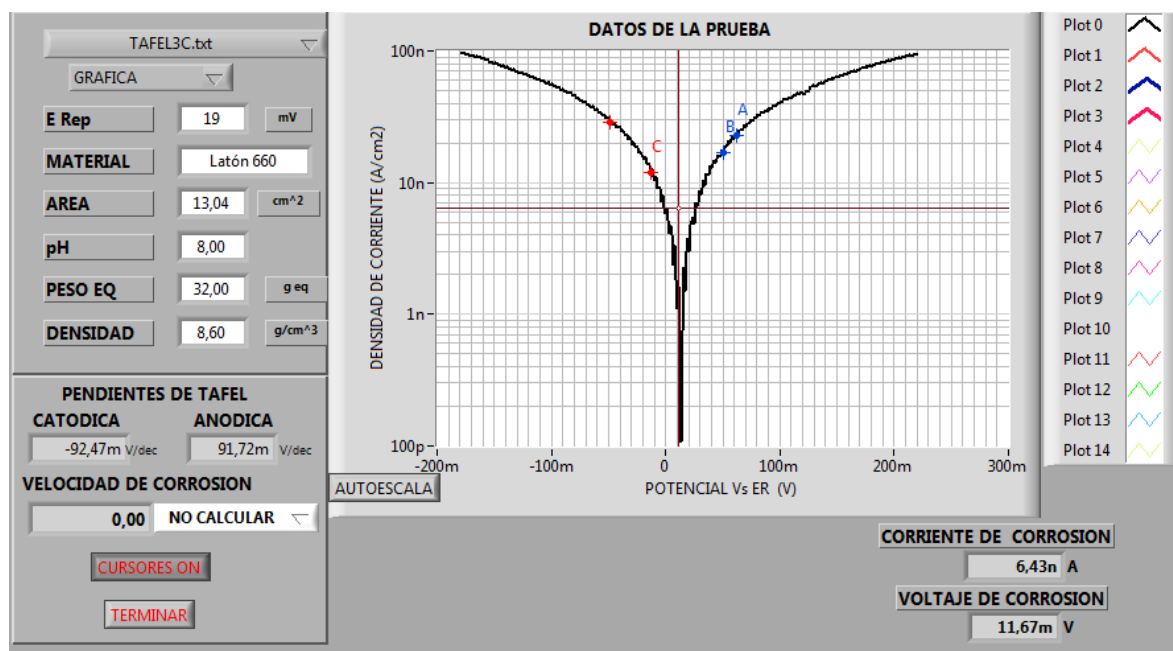


Figura 7. Gráfica de prueba a las 12 horas.

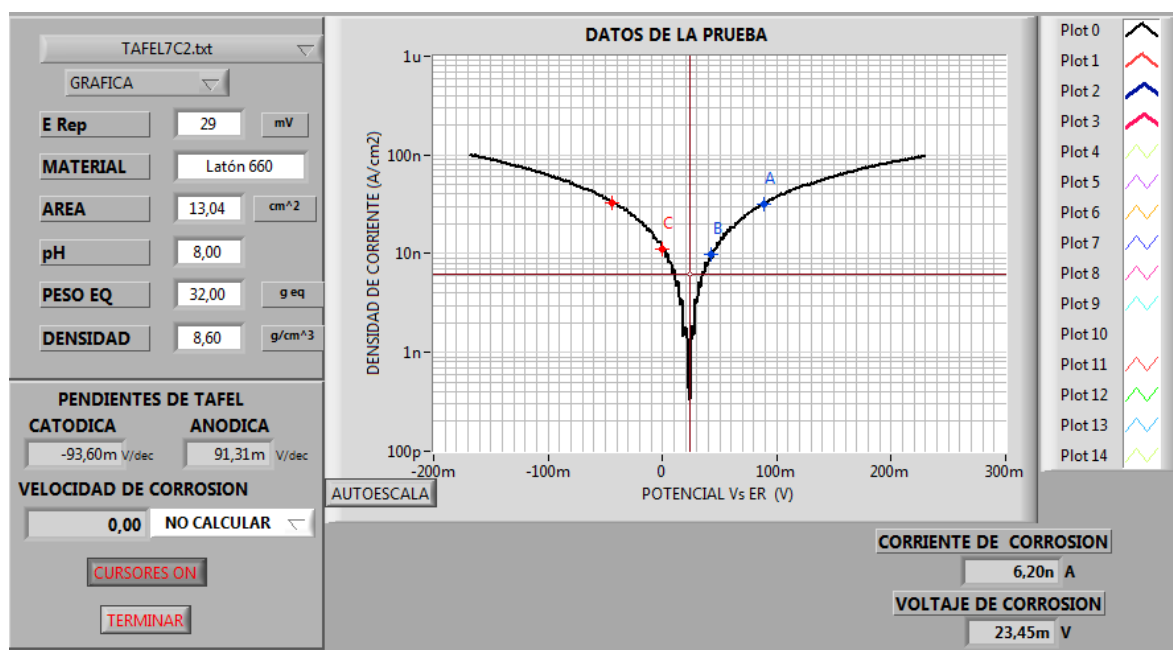


Figura 8. Gráfica de prueba a las 24 horas

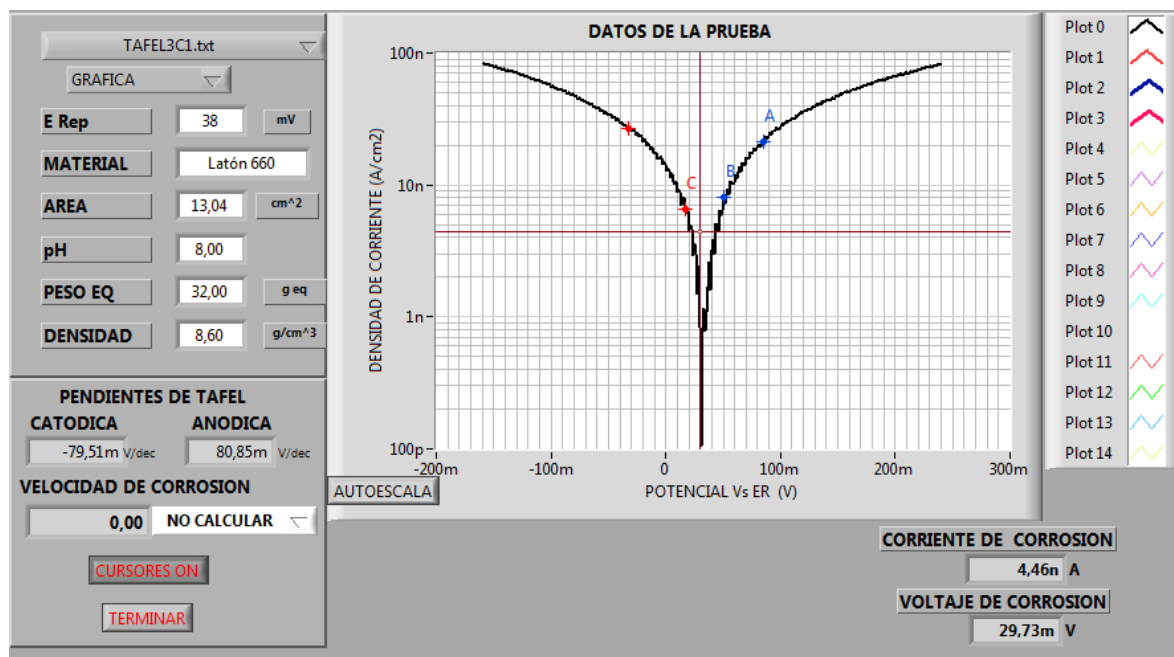


Figura 9. Gráfica de prueba a las 36 horas.

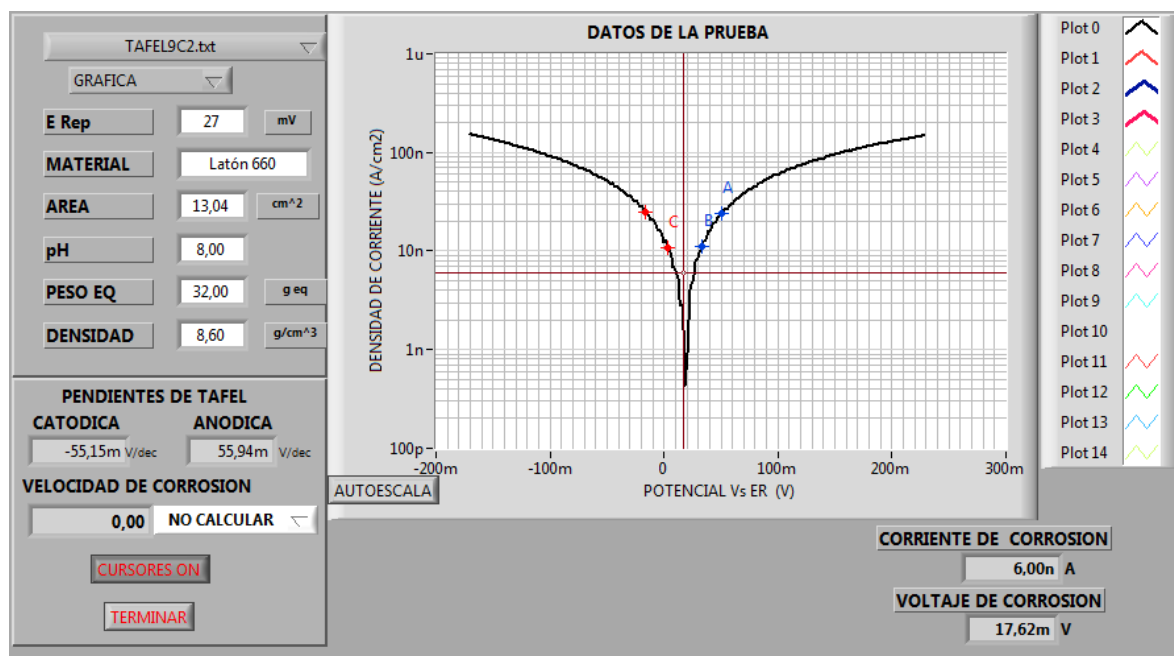


Figura 10. Gráfica de prueba a las 48 horas.

### 3.1.2. Resistencia a la polarización lineal

Con los datos de la tabla 4 se realizó el procedimiento para hallar la resistencia a la polarización, corriente de corrosión y las velocidades de corrosión, este se halló con las ecuaciones del numeral 1.7.2.

Horas de exposición	$R_p$ [ $\Omega$ ]	$I_{corr}$ [A]	$V_{corr}$ [MPY]
0	$4,24 \times 10^6$	$5,55 \times 10^{-6}$	$203,90 \times 10^{-6}$
12	$1,89 \times 10^6$	$10,56 \times 10^{-6}$	$388,12 \times 10^{-6}$
24	$1,72 \times 10^6$	$11,65 \times 10^{-6}$	$428,22 \times 10^{-6}$
36	$2,48 \times 10^6$	$7,02 \times 10^{-6}$	$258,14 \times 10^{-6}$
48	$1,14 \times 10^6$	$10,56 \times 10^{-6}$	$388,28 \times 10^{-6}$

Tabla 5. Resultado de resistencia a la polarización, corriente de corrosión y las velocidades de corrosión.

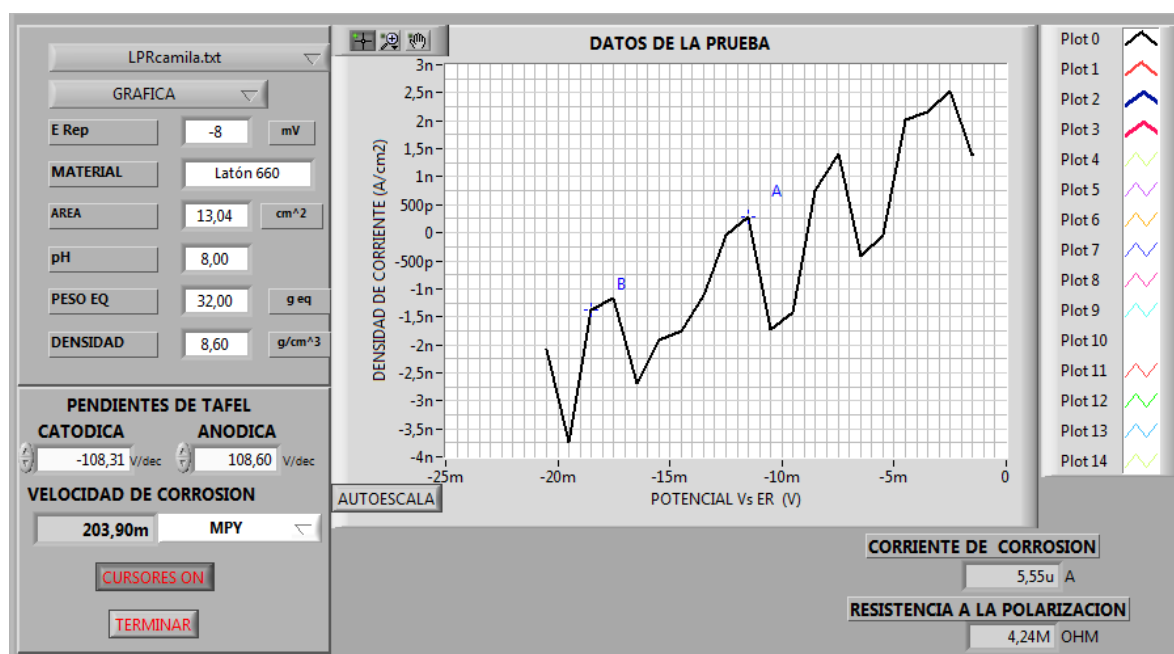


Figura 11. Gráfica de prueba RPL a la hora 0 (cero).

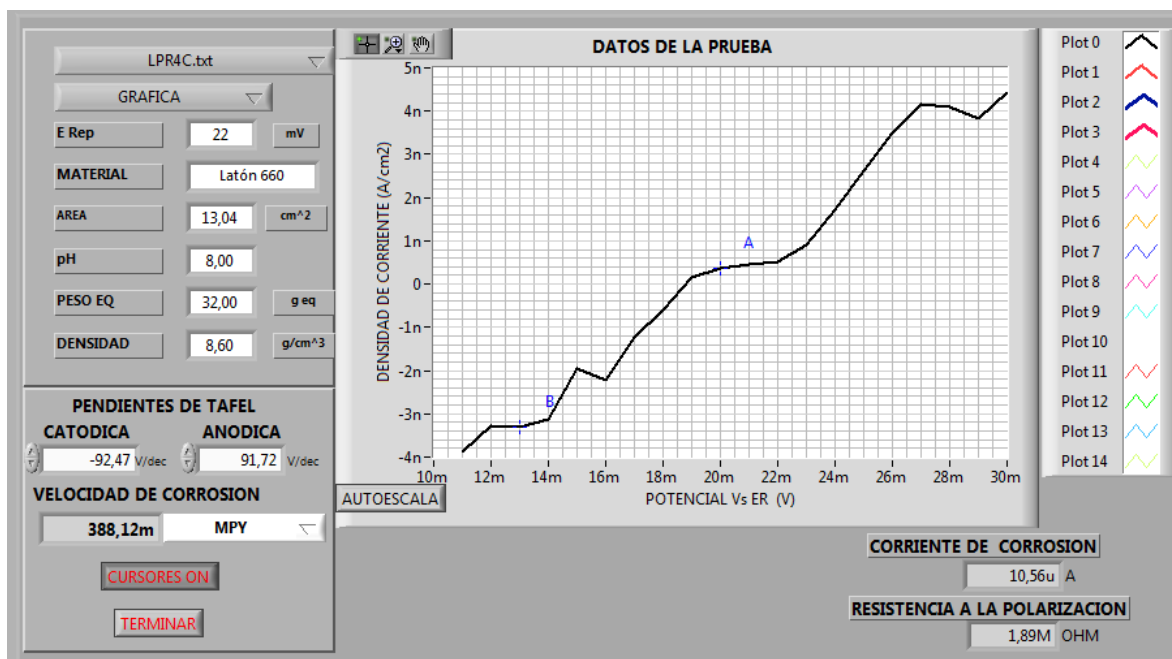


Figura 12. Gráfica de prueba RPL a las 12 horas.

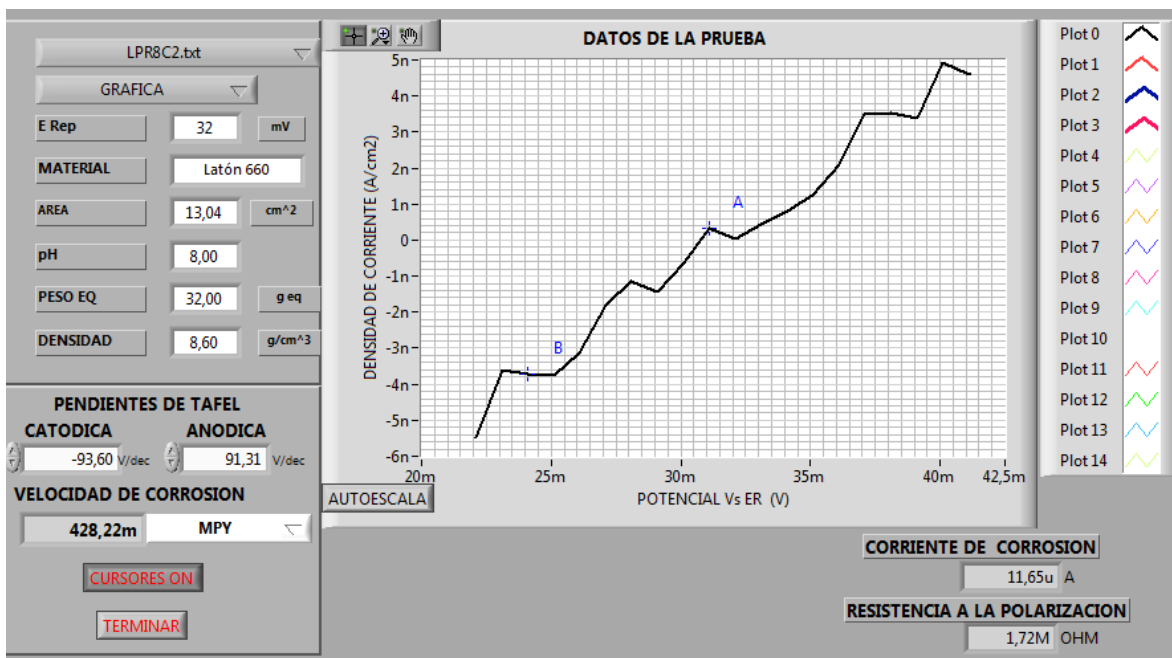


Figura 13. Gráfica de prueba RPL a las 24 horas.



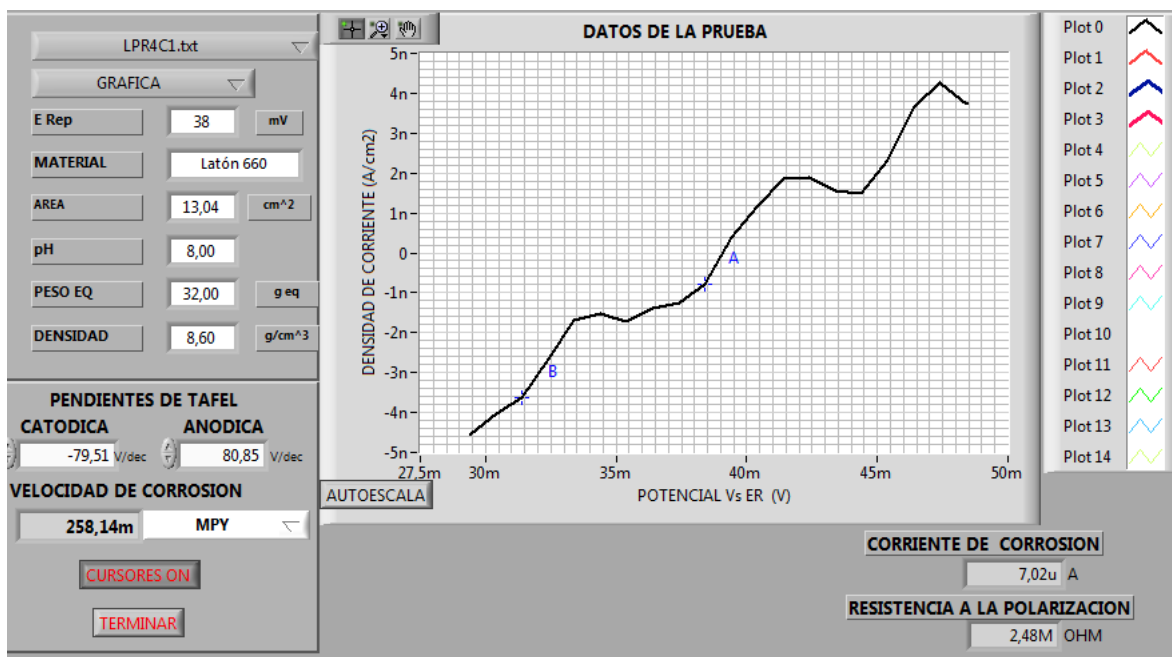


Figura 14. Gráfica de prueba RPL a las 36 horas.

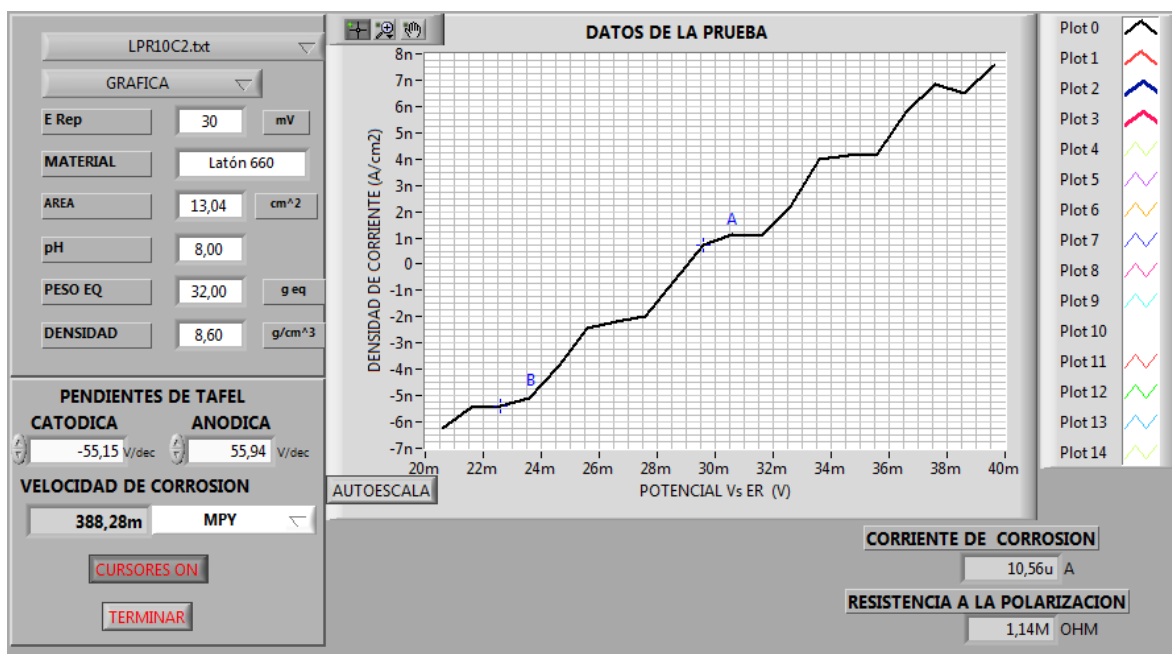
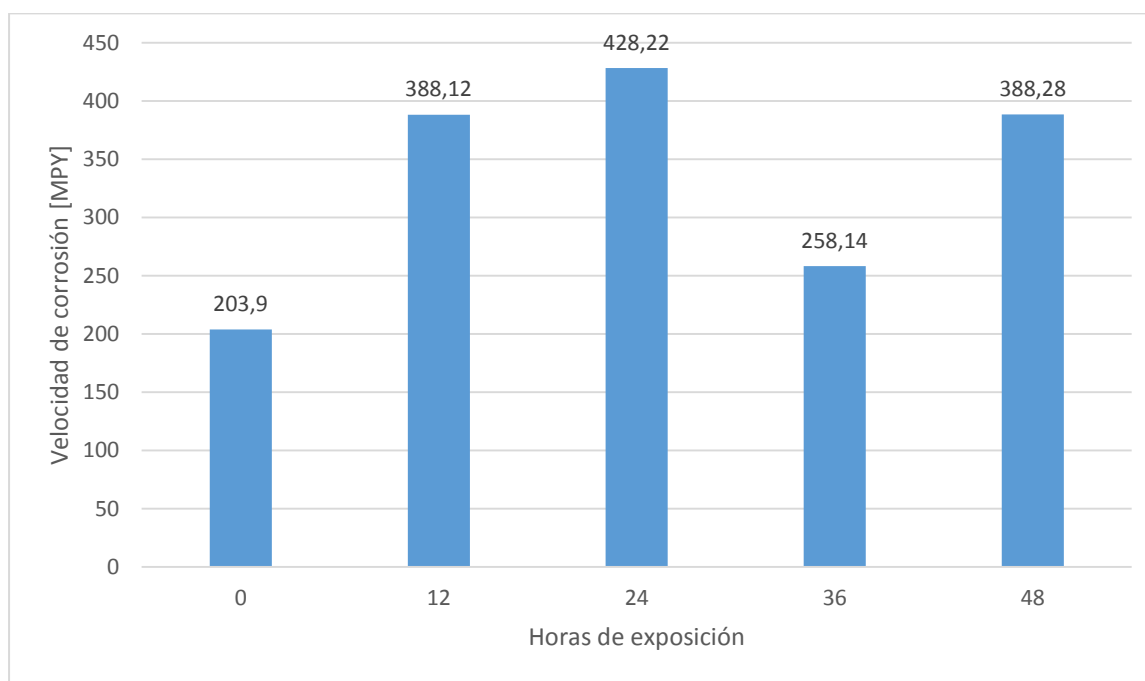


Figura 15. Gráfica de prueba RPL a las 48 horas.

### 3.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados de la velocidad de corrosión fue un aumento des de la hora (0) cero de exposición al medio electrolítico siendo de 203,90m MPY, a las 12 horas de 388,12m MPY, hasta la lectura de máxima velocidad de corrosión la cual fue 428,22m MPY las 24 horas, seguido de esto comenzó a disminuir lo cual indica un proceso de pasivación en el Latón (este se autoprotege creando una capa delgada para así aislar el material del medio) arrojando un valor de 258,14m MPY a las 36 horas, seguido de esto la velocidad de corrosión volvió a aumentar llegando a un 388,28m MPY a las 48 horas de exposición.



*Gráfica 1. Horas de exposición vs velocidad de corrosión.*

Se obtuvo el la hora 0 (cero) el mayor valor de resistencia a la polarización con un valor de  $4,24 \times 10^6$  [ $\Omega$ ], el menor valor de corriente de corrosión de  $5,55 \times 10^{-6}$  [A], como también el menor valor de velocidad de corrosión de  $203,90 \times 10^{-6}$  [MPY] y totalmente inverso a las 24 horas de exposición siendo el menor valor de resistencia a la polarización con un valor de  $1,72 \times 10^6$  [ $\Omega$ ], el mayor valor de corriente de corrosión de  $11,65 \times 10^{-6}$  [A] y el mayor valor de velocidad de corrosión de todas las pruebas de  $428,22 \times 10^{-6}$  [MPY].

Al finalizar las pruebas, se evidencio el desgaste en la probeta después de 48 horas de exposición al medio electrolítico.



*Imagen 12. Probeta después de 48 horas de exposición al medio electrolítico.*

#### **4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

- Se determinaron las constantes de Tafel catódica y anódica del Latón comercial al ser expuesta en un agente corrosivo compuesto por 20%etanol-80%gasolina mediante la extrapolación de Tafel.
- Se determinó el comportamiento del Latón 660 expuesto a la mezcla de 20%etanol-80%gasolina mediante el método electroquímico de resistencia a la polarización lineal (RPL), donde se hallaron datos como la resistencia a la polarización, corriente de corrosión y las velocidades de corrosión.
- Se determinó el tipo de corrosión que presentó el Latón 660 al ser expuesto a un medio electrolítico compuesto por una mezcla de 20%etanol-80%gasolina, el cual fue una corrosión tipo uniforme o generalizada.

- Se obtuvo la mayor velocidad de corrosión a las 24 horas de exposición del Latón 660 en el medio electrolítico, pero a las 36 horas de exposición comenzó a disminuir lo cual indica un proceso de pasivación en el Latón, donde este se autoprotege creando una capa delgada para así aislar el material del medio.

#### **4.1. Recomendaciones**

- Al momento de hacer las pruebas tener presente que el Potenciostato-galvanostato esté perfectamente conectado y no esté en contacto con otros equipos que puedan perturbar la señal y así evitar una medida errónea.
- Realizar estos ensayos para el Latón 660 a diferentes porcentajes de Etanol, para complementar este estudio, teniendo como base que a mayor porcentaje de Etanol mayor es la cantidad de agua.

### **5. BIBLIOGRAFÍA**

- [1] MORELOS GÓMEZ, José. Análisis de variación de la eficiencia en la producción de biocombustibles en América Latina. Abril 2016.
- [2] CERVANTES SERPA, Deiber José; GONZALES CABARCAS, Haroldo. EVALUACIÓN DE LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DE UN LATÓN (S.A.E. 88/A.S.T.M. B 455) Y DE UN BRONCE (S.A.E. 40/A.S.T.M. B 271) EXPUESTOS A UNA SOLUCIÓN DE GASOLINA Y ETANOL (5%-20%). Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander.2010.
- [3] BERLANGA, C. BIEZMA, M.V. FERNANDEZ, J. Revisión y estado del arte de la corrosividad del etanol a sus mezclas con gasolina. REVISTA DE METALURGIA. 2011.
- [4] KALPAKJIAN, Serope; SCHMID, Steven R. Manufactura, ingeniería y tecnología. Prentice-Hall, México. 2002.
- [5] TORRES, Jaime; MOLINA, Daniel; PINTO, Carlos; RUEDA, Fernando. ESTUDIO DE LA MEZCLA DE GASOLINA CON 10% DE ETANOL ANHIDRO. EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. 2002.
- [6] MOTT, Robert L. DISEÑO DE ELEMENTOS DE MÁQUINAS. Prentice-Hall. México. 2006.
- [7] GÓMEZ DE LEÓN, Félix Cesáreo. Manual básico de corrosión para ingenieros. Universidad de Murcia, 2004.

- [8] ÁVILA, Javier. GENESCÁ, Joan. Más allá de la herrumbre. México. Fondo de cultura económica. 1996.
- [9] COSTA, J.M. Diccionario de Química Física. Barcelona. Universidad de Barcelona. 2005.
- [10] ANDRADE, Carmen Maria. FELIU, Sebastián. CORROSIÓN Y PROTECCIÓN METÁLICAS, Volumen 1. Madrid. Consejo superior de investigaciones científicas. 1991.
- [11] MORA, Edwin. VENEGAS, Edgar. Caracterización del Latón. Revista Metalúrgica UTO. Oruro, Bolivia. 2011.
- [12] AVEDAÑO, Joaquín. Manual completo de introducción primaria elemental y superior. Segunda edición. Madrid. 1844.
- [13] ALVAREZ, Silvia. EVELSON, Pablo. BOVERIS, Alberto. Etanol: El combustible del futuro. Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires. 2008.
- [14] TRISTANCHO, José Luis. Caracterización por sales fundidas de los recubrimientos metálicos NiCrFeNbMoTiAl, NiCrAlY, mediante técnicas electroquímicas. Doctor en ciencia de materiales. Chihuahua. México. 2011.